



RANS 및 DES 해석에 기반한 다양한 비행조건에서 Side Jet을 탑재한 초고속 비행체의 Amplification Factor 분석 연구

Computational Study of Amplification Factor of High-speed Vehicle with Side Jet in Various Flight Conditions based on RANS and DES Approach

저자 (Authors)	오광석, 김은사, 김종암 Kwangseok Oh, Eunsu Kim, Chongam Kim
출처 (Source)	한국항공우주학회 학술발표회 논문집 , 2016.11, 53-54 (2 pages)
발행처 (Publisher)	한국항공우주학회 The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences
URL	http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07090362
APA Style	오광석, 김은사, 김종암 (2016). RANS 및 DES 해석에 기반한 다양한 비행조건에서 Side Jet을 탑재한 초고속 비행체의 Amplification Factor 분석 연구. 한국항공우주학회 학술발표회 논문집, 53-54.
이용정보 (Accessed)	서울대학교 147.46.118.*** 2017/04/28 11:49 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

RANS 및 DES 해석에 기반한 다양한 비행조건에서 Side Jet을 탑재한 초고속 비행체의 Amplification Factor 분석 연구

오광석^{*1}, 김은사¹, 김중암^{1,2}서울대학교 기계항공공학부¹서울대학교 항공우주신기술연구소²

Computational Study of Amplification Factor of High-speed Vehicle with Side Jet in Various Flight Conditions based on RANS and DES Approach

Kwangseok Oh^{*1}, Eunsu Kim¹, Chongam Kim^{1,2}

Key Words : Divert and attitude control system (궤도전이 및 자세제어 시스템), Amplification factor (증폭계수), Jet interaction (제트간섭), Detached eddy simulation (DES, 분리 와동 모사), Computational fluid dynamics (전산유체역학)

서 론

최근 THAAD와 같은 탄도탄 요격 시스템이 주목받으면서, 초고속 비행체의 유도비행 성능을 향상시키기 위한 연구가 주목받고 있다. 그 중에서도 궤도전이 및 자세제어 시스템 (Divert and attitude control system, DACS) 은 동체의 측방향으로 강한 제트 (side jet) 를 분사함으로써 비행체를 짧은 반응속도로 효과적으로 제어할 수 있어 많이 연구되고 있다. 그런데 DACS에서 분사되는 제트는 자유류와 제트간섭⁽¹⁾ (jet interaction) 을 일으켜 비행체 동체 주위에 비정상 (unsteady) 난류 충격파-와류 구조를 발생시키며, 이는 제트 분사로 변화한 비행체의 공력계수를 제대로 예측하기 어렵게 한다. 따라서 side jet에 의한 효과를 정확하게 예측하기 위해서는 제트가 분사되는 상황에서 비행체 주위의 유동물리 현상을 정확하게 모사하고 분석하는 것이 선행적으로 이루어져야 한다.

본 연구에서는 side jet을 탑재한 초고속 비행체 주위의 유동물리 현상을 수치적으로 모사하고, 계산된 유동장을 기반으로 유도비행 성능을 간접적으로 분석하는 것을 목표로 한다. RANS (Reynolds-averaged Navier-Stokes) 모델을 적용하여 유동해석을 수행하였으며, 유도비행 성능 지표로 amplification factor를 수치적으로 산출하여 다양한 비행조건 하에서 비교하였다. 현재 유동의 비정상성을 고려하여 hybrid RANS-LES 모델 중 하나인 DES (Detached eddy simulation) 모델을 적용하여 시간에 따른 amplification factor의 변화를 분석 중이다.

해석 과정 및 Amplification Factor 분석

유동해석 기법 및 해석 케이스 선정

본 연구에서는 3차원 압축성 난류유동 수치해석을 위해 지배방정식인 RANS 방정식에 유한체적법을 적용하였다. 공간차분 기법으로는 AUSMPW+⁽²⁾ 와 MLP5⁽³⁾ 를 적용하였고, 시간전진 기법으로는 LU-SGS를 적용하였다. 난류모델은 RANS 해석을 위한 $k-\omega$ SST와 DES 해석을 위한 SST-DES⁽⁴⁾ 를 적용하였다.

해석에 사용된 비행체 형상은 Fig. 1과 같으며, 선행연구⁽⁵⁾를 참고하여 설정하였다. 예상 비행조건을 가정하여 마하수와 받음각, 제트 조건을 설정하였으며, 이를 정리한 것은 Table 1과 같다.

Table 1. Flight Conditions of the Vehicle

Mach number	3.0 / 6.0
Altitude	Standard air at 20km
Angle of attack	-20° ~ 20° (5° spacing)
$p_{jet,total}/p_{\infty}$	3.1×10^3
$T_{jet,total}/T_{\infty}$	12.7

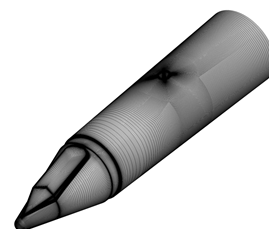


Fig 1. Surface Grid System of the Vehicle

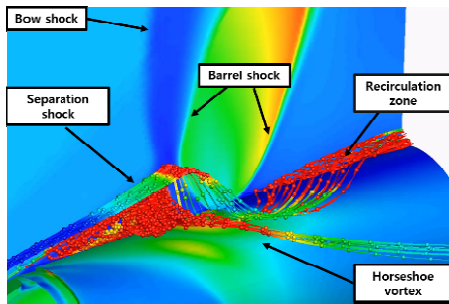


Fig 2. Visualization of Numerical Flow Field Near Jet Exit
(Mach number contour with streamlines)

유동해석 결과 및 Amplification Factor 분석

Fig. 2는 비행체 형상 대칭면에서의 Mach 수 분포 및 제트 출구 근처에서의 유선을 가시화 한 결과이다. 선행연구⁽¹⁾와 비교하였을 때, 제트 주변에 발생하는 bow shock, barrel shock, separation shock 등의 복잡한 충격파 구조를 정확하게 묘사하였음을 알 수 있다. 또한 유선 분포를 통해 제트 주변에 발생하는 horseshoe vortex 및 충격파에 의한 separation 등 와류 구조 또한 정확하게 묘사하였음을 확인하였다.

비행체 표면을 따라 압력계수를 계산하여 도시한 결과는 Fig. 3과 같다. 제트 전방에 발생한 separation으로 인해 압력이 상승하는 것을 확인하였으며, 이는 양력계수의 감소로 이어질 것으로 예상할 수 있다. Fig. 4(a)를 보면 유동해석을 수행한 받음각 영역 내에서는 양력계수가 감소함을 확인하였다. 제트에 의한 효과를 식 (1)과 같이 정의된 amplification factor⁽¹⁾, K로 환산하였을 때, Fig. 4(b)를 보면 전반적으로 K가 1보다 크며 받음각이 커짐에 따라 K가 커지는 경향을 보였다.

$$K = 1 + F_{\text{jet interaction}} / F_{\text{jet thrust}} \quad (1)$$

현재 DES를 이용한 해석이 진행중이다. DES의 특성 상, 대부분의 유동 영역은 RANS 모드이나 분사된 제트의 후류 영역과 제트 전방의 충격파를 포함한 영역에서 LES 모드로 전환되는 것을 확인하였으며, 이는 제트 전방의 separation 영역의 크기와 압력 상승량에 영향을 주는 것으로 관찰되고 있다. 향후 계산이 완료되어 RANS 결과와 비교할 경우 separation 영역의 변화로 인해 K 값이 변화할 것으로 기대하고 있다.

후 기

본 연구는 서울대학교 항공우주신기술연구소의 지원 및 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 한국과학기술원 초고속비행체특화센터에서 수행되었습니다.

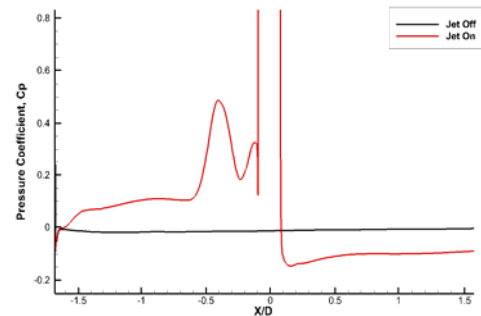


Fig 3. Change of Pressure coefficient c_p distribution with Side Jet

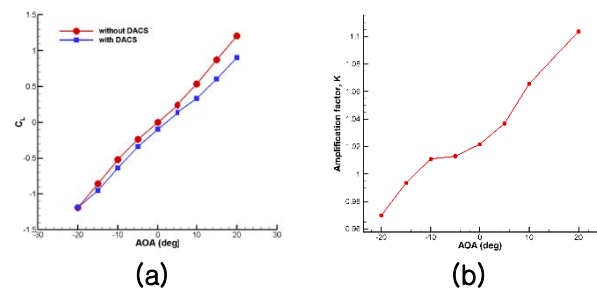


Fig 4. (a) Change of Lift Coefficients with Side Jet, (b) Amplification factor vs. Angle-of-attack

참고문헌

- 1) Graham, M. J. and Weinacht, P., "Numerical Investigation of Supersonic Jet Interaction for Axisymmetric Bodies," *Journal of Spacecraft and Rockets*, Vol. 37, No. 5, 2000, pp. 675-683.
- 2) Kim, K. H., Kim, C., and Rho, O.-H., "Methods for the Accurate Computations of Hypersonic Flows I. AUSMPW+ Scheme," *Journal of Computational Physics*, Vol. 174, No. 1, 2001, pp.38-80.
- 3) Yoon, S.-H., Kim, C., and Kim, K.-H., "Multi-dimensional limiting process for three-dimensional flow physics analyses," *Journal of Computational Physics*, Vol. 227, No. 12, 2008, pp.6001-6043.
- 4) Strelets, M., "Detached eddy simulation of massively separated flow," *39th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*, 2001, pp.1-18.
- 5) Seong, S., Kim, S.-W., Kim, S., Ryu, D., and Kang, H. G., "A new ray tracing model for aero-optical effect simulation of laminar flow field surrounding highly supersonic projectile with cone shape head," *Proceedings of SPIE*, Vol. 9249, 2014, pp. 92491C-92491C-9.